



Skörd av skogsbränsle och/eller massaved i förstagallringar, vägkanter och på igenväxt åkermark

*Harvesting of fuel wood and/or pulpwood in early thinnings,
roadsides and on overgrown arable land*

Fulvio Di Fulvio, Dan Bergström & Tomas Nordfjell

Arbetsrapport 343 2011

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
090/7868100



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-343-SE

Skörd av skogsbränsle och/eller massaved i förstagallringar, vägkanter och på igenväxt åkermark

*Harvesting of fuel wood and/or pulpwood in early thinnings,
roadsides and on overgrown arable land*

Fulvio Di Fulvio, Dan Bergström & Tomas Nordfjell

Arbetsrapport 343
Skoglig resurshushållning

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2011

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-343-SE

Sammanfattning

Vid gallring används samma typ av basmaskiner för sortimenten skogsbränsle och massaved. Ett beslut om val av sortiment grundar sig därför främst på de mängder massaved respektive skogsbränsle som kan genereras i en avverkning och den aktuella prisrelationen mellan skogsbränsle och massaved.

Under åren 2009 och 2010 utfördes driftsuppföljningar på avverkningsobjekt i Västerbotten vid skörd av skogsbränsle och massaved i unga skogar. Syftet med datainsamlingen var att beräkna de olika maskinernas och systemens produktivitet, kostnader och netto vid skörd och transport till väggkant. Datamaterialet delades upp i två kategorier av avverkningar: 1) ”gallring” och 2) ”vägröjning & kalavverkning”. Kalavverkning utfördes på igenväxt åkermark, åkerkanter och vägkanter. Totalt bestod datamaterialet av 43 avverkningsobjekt, varav 34 var ”gallring” och 9 var ”vägröjning & kalavverkning”. Avverkningsobjekten grupperades i fyra grupper utifrån typ av maskinsystem (skördare och skotare eller drivare) och storlek på maskiner (medelstora eller små). Som ett komplement till driftsuppföljningen utfördes tidsstudier på sammanlagt fyra olika maskinsystem vid skörd av skogsbränsle i samma region som ovan under barmarkssäsongen 2010. Tre maskinsystem bestod av en skördare och en skotare och ett maskinsystem bestod av en liten drivare. Totalt 16 studieytor inventerades både före och efter skörd. Bestånden hade före skörd i medeltal 3653 stammar/ha och i medeltal skördades det 2025 stammar/ha vilket motsvarade ca 25 ton torrsubstans (TS) (ca 50 m³f biomassa) per ha.

Från de 43 avverkningsobjekten i driftsuppföljningen skördades totalt 16179 m³f biomassa (m³f bio) skogsbränsle och 1906 m³fub massaved från en total skördad areal av 295 ha. Medelobjektet var på 6,9 ha. I de 34 gallringsobjekten skördades i medeltal 49 m³f bio/ha skogsbränsle med en medelstamvolym av 25 dm³sk. I 9 av gallringsobjekten skördades både skogsbränsle och massaved (integrerad gallring). Medelstamvolymen var 36 dm³sk och det skördades i medeltal 37 m³f bio skogsbränsle och 11 m³fub massaved per ha. Den totala avverkningskostnaden blev i medeltal 15965 kr/ha för skördare och skotaresystemet. Vid enbart gallring av skogsbränsle och vid integrerad gallring blev intäkten 11301 kr/ha respektive 11509 kr/ha. I vägröjnings- och kalavverkningsobjekten var intäkten i medeltal 29687 kr/ha. I gallringsobjekten blev nettointäkten i medeltal -5842 kr/ha (min -16543, max 2130 kr/ha) och i kalavverkningsobjekten i medeltal -3397 kr/ha (min -8001 kr/ha, max 2610 kr/ha). I medeltal blev nettointäkten i gallring av skogsbränsle och integrerad gallring -6781 kr/ha respektive -3341 kr/ha.

Tidsstudien visade att ett avverkningssystem bestående av en medelstor skördare och en medelstor skotare ger en lönsam skörd av skogsbränsle om medelstamvolymen överstiger ca 30-35 dm³sk (dbh > ca 8-9 cm). Detta resultat är i enlighet med tidigare studier utförda både i Sverige och i Finland. Det finns ett fortsatt behov av utveckling av teknik och arbetsmetoder för skörd av kläna stammar, där system för integrerad skörd av både massaved och skogsbränslen i bestånd där den skördade medelstammen överstiger ca 30 dm³sk sannolikt kan ge ökad kostnadseffektivitet i jämförelse med att bara skörda ett av sortimenten

Nyckelord: Bioenergi, energigallring, konfliktbestånd, lönsamhet, produktivitet, röjning

Abstract

In early thinnings where either pulpwood or energy wood is harvested, the same logging machines are generally used for both products. The choice between pulpwood or energy wood is therefore mostly dependent on the harvestable volumes of the two assortments and the price difference.

During the years 2009-2010 follow up studies on machine performance in early thinnings were performed in the coastal region of Västerbotten. The purpose was to study the time consumption, production and costs for harvesting of energy wood and pulpwood, either in separate operations or through integrated harvest of both assortments. In total 43 different harvesting objects were included in the study of which 34 were early thinning stands and 9 were harvesting of e.g. road sides and overgrown arable land. During the year 2010 the follow up studies were complemented with time studies of three of the machine systems; three harvester and forwarder systems and a small harwarder system were studied.

In the follow up study, a total of 16179 m³solid energy wood and 1906 m³solid on bark pulpwood were harvested from an area of 295 ha. In the thinning stands the average harvested stem size was 25 dm³solid and on average 49 m³solid biomass per ha of energy wood. In 9 of these stands an integrated harvest of pulpwood and energy wood was performed. The average stem size of the removed stems was 36 dm³solid, and in average 37 m³solid energy wood per ha and 11 m³solid pulpwood per ha were harvested. The harvesting costs for the harvester and forwarder system were on average 15965 SEK/ha.

The time study shows that a harvesting system with a medium sized harvester and forwarder in energy wood thinning is profitable when the harvested tree size reaches ca 30-35 dm³solid (diameter at breast height ca 8-9 cm). These results are in line with previous finding from both Sweden and Finland. Further development of harvesting systems for integrated harvesting of energy wood and pulpwood will make the extraction of biomass from early thinning more profitable, in stands where the mean harvested tree size reach at least 30 dm³solid, in comparison to extract only one assortment.

Keywords: Bioenergy, energy wood, pre-commercial thinning, productivity

Innehållsförteckning

Introduktion.....	5
Syfte	5
Material och Metoder	6
Driftsuppföljning.....	6
Tidsstudier.....	7
Avverkningsobjekt.....	7
Beståndsinventering.....	8
Beskrivning av maskiner och drivningssystem	10
Arbetsmetodik	14
Datainsamling	16
Resultat.....	17
Driftsuppföljning.....	17
Tidsstudier.....	21
Skörd.....	23
Skotning.....	24
Avverkning och skotning med drivare	25
Ekonomi.....	28
Kvalitet på kvarvarande bestånd.....	29
Diskussion	31
Driftsuppföljning.....	31
Tidsstudier.....	31
Övrigt.....	33
Slutsatser	33
Tillkännagivanden.....	34
Referenser.....	35

Introduktion

Efterfrågan på skogsbränslen ökar ständigt i Sverige vilket betyder att större volymer skoglig biomassa måste skördas från både gallringskog och föryngringsavverkningar. I Sverige finns det idag totalt 2,8 miljoner ha unga ogallrade skogar under 12 m i höjd och med en biomassa större än 30 ton torrsbstans (TS) per ha. Från dessa kan man teoretiskt skörda ca 2,5 miljoner ton TS (ca 5 miljoner m³f biomassa) årligen (Nordfjell et al. 2008). I dagsläget skördas dock endast en liten andel av denna potential. För att få lönsamhet vid skörd av skogsbränsle i klena förstagallringar måste drivningskostnaden reduceras.

I förstagallringar skördas vanligtvis bestånden med stickvägsgående maskiner som arbetar med ett avstånd på ca 20 m mellan stickvägar. Stickvägsavståndet kan ökas om man mellan stickvägarna skördar med en mindre beståndsgående skördare som fäller träden mot stickvägarna. Biomassan transporteras sedan till bilväg med en skotare. Gallringen mellan stickvägar sker genom ett selektivt urval av träd, och målet är att beståndet efter skörd skall innehålla ca 1500 träd per ha för fortsatt produktion. I realiteten innebär detta att den skördade volymen per ha till stor del blir ett resultat av beståndets täthet och diameterfördelning före skörd. Normalt varierar gallringsstyrkan mellan 30% till 40% som skördad andel grundyta. Vid gallring av skogsbränsle eller massaved används samma basmaskiner och vanligtvis används ett tvåmaskinsystembestående av en skördare och en skotare. Vid skörd av skogsbränsle utrustas skördaren vanligtvis med ett ackumulerande fällaggregat. När skogsbränsle skördas ackumuleras ca 2-6 träd per krancykel vilka sedan högläggs vid stickvägskant. Med vissa aggregat kapar skördaren träd till en längd av 4-6 m innan de högläggs, eller så kapar skotaren högen med en gripsåg vid pålastningen. Vid skörd av massaved används skördaraggregat som kvistar och kapar träden i skogen och en skotare utrustad med virkesgrip. Det blir allt vanligare att använda skördaraggregat konstruerade för fällning, ackumulering och kvistning av flera stammar per krancykel, speciellt i klena förstagallringar.

Man kan även gallra med kombinationsmaskiner (drivare) som både skördar och skotar biomassan. Ofta är dessa drivare vanliga skotare som utrustats med aggregat anpassade för både fällnings- och lastningsarbete. Det finns även specialtillverkade drivare som i jämförelse med skotarbaserade drivare har en bättre anpassad kran för fällningsarbetet. Vid skörd av skogsbränsle i gallring med skördare och skotare och flisning vid bilväg så utgör kostnaden för skördarens arbete en stor del av den totala drivningskostnaden (Kärhä et al. 2005, Laitila 2008). I gallring påverkas skördarens produktivitet framförallt av storlek på skördad medelstam, beståndstäthet och gallringsstyrka (Eliasson 1999, Kärhä et al. 2005). I klena gallringar, där relativt klena stammar skördas, kan skördarens produktivitet öka med 35-40% om flerträdshanterande skördaraggregat och ackumulerande fällaggregat används i stället för enträdshanterande aggregat (Björheden et al. 2003, Jylhä & Laitila 2007).

Om massaved skördas så fälls, kvistas och kapas träden i beståndet. I vissa fall läggs kvistar och toppar i stickvägen för reducering av markskador. Om skogsbränsle ska skördas så utförs ingen kvistning, eller endast en "grovkvistning". Transport av skogsbränsle i form av träddeklar ger ett lågt lastutnyttjande i jämförelse med transport av massaved. För att öka lastutnyttjande vid transporten kan träden t.ex. "grokvistas" genom att stammarna matas genom aggregatet med kvistknivarna något utfällda (Iwarsson Wide 2009). Ett annat alternativ är att skotarens lastutrymme förses med komprimerande laststöttor (Bergström et al. 2010), vilket också kan kombineras med grokvistning. Vanligtvis sönderdelas träddeklarna vid bilväg, men i vissa fall transporteras de utan sönderdelning till terminal eller industri.

Syfte

Syftet med detta arbete var att studera olika maskinsystems produktivitet vid skörd av skogsbränsle och/eller massaved i klena gallringar, och från vägkanter, åkerkanter och igenväxt åkermark samt att och beräkna drivningens kostnader och netto till vägkant.

Material och Metoder

Denna studie har genomförts som en kombination av driftsuppföljningar och tidsstudier.

Driftsuppföljning

Drivningsdata insamlades löpande under 2009 och 2010 av personal hos Norra Skogsägarna (pers. medd. Mikael Forsman och Niklas Karlsson, Norra Skogsägarna 2010). Datamaterialet bestod av maskin- drifts- och inventeringsdata samt inmätta volymer skördad biomassa från olika avverkningsobjekt och avverkningslag. Initialt blev datamaterialet uppdelat i två kategorier av avverkningar: ”gallring” och ”vägröjning & kalavverkning”. Kalavverkning utfördes på igenväxt åkermark, åkerkanter och vägkanter. Uppdelningen föranleddes av att arbetsmetoderna skiljer sig stort mellan dessa typer av avverkningar. Totalt bestod datamaterialet av 43 avverkningsobjekt, varav 34 var ”gallring” och 9 var ”vägröjning & kalavverkning”. De flesta avverkningarna genomfördes under barmarkssäsongerna 2009 och 2010. Endast fyra av gallringarna genomfördes under vinterförhållanden under perioden november 2009 till mars 2010.

Skördade volymer skogsbränsle beräknades genom omräkning av invägd rå massa vid värmeverk till m³f biomassa (m³f bio) med en antagen densitet av 800 kg/m³f bio (enl. Norra Skogsägarnas prislista 2010). Denna omräkning genomfördes då de inmätta volymerna skogsbränsle i vält vid bilväg i några fall var betydligt lägre än inmätta volymer (vägt och omräknat till m³f bio enl. ovan) vid värmeverk. D.v.s. beräkningar av skördade volymer skogsbränsle baserades på invägd mängd biomassa och adekvata omräkningstal från vikt till volym (t.ex. densitetsvärde på den fasta veden) gav ett betydligt stabilare resultat än travmätning av träddeklar i vält och en skattning av travens fastmasseandel. Skördade volymer massaved som redovisats i datamaterialet har travmätts. Travmätning av rundved och omräkning till fast volym under bark (m³fub) är en etablerad mätmetod som ger ett stabilt resultat i jämförelse med motsvarande inmätning och omräkning för träddeklar.

Inventeringsdata för avverkningsobjekten/bestånden före och efter skörd användes för skattningar av t.ex. skördad grundyta, stamantal och medelstammens volym. Men då inventeringen baserades på cirkelprovtytor med olika placering före och efter skörd så blev jämförelser mellan före och efter skörd missvisande. Tyvärr medförde detta även begränsade jämförelser mellan de olika avverkningsobjekten. Istället utnyttjades inventeringsdata inmätt före skörd för beräkning av medelträdets diameter vid brösthöjd (dbh). Från dbh (anges i mm) beräknades därefter avverkningsobjektens medelstamvolym (dm³sk) med följande funktion, baserad på Ulvcrone et al. (2010):

$$V_{\text{stam}} = \exp(-6,88 + 2,32 \times \ln(\text{dbh})) \quad [\text{dm}^3\text{sk}]$$

Tidsåtgången för avverkningsmaskinerna (skördare, skotare och drivare) per avverkningsobjekt angavs i G₁₅ tid, vilket utgörs av effektiv tid samt pauser och avbrottstid kortare än 15 min. Produktiviteten för respektive maskin och avverkningsobjekt beräknades genom att dividera inmätt volym skogsbränsle eller massaved per skördad areal med registrerade arbetstimmar per angiven skördad areal (m³f bio/G₁₅-timme för skogsbränsle och m³fub/G₁₅-timme för massaved).

Avverkningsobjekten grupperades i fyra grupper utifrån typ av maskinsystem (skördare och skotare eller drivare) och storlek på maskiner (medelstora eller små).

Maskingrupp 1 (tre maskinlag) bestod av en medelstor skördare utrustad med ett ackumulerande fällaggregat och en medelstor skotare. I denna grupp ingick följande maskinlag: John Deere 1170 skördare utrustad med ABAB 251 klippaggregat och en medelstor skotare; John Deere 770 skördare utrustad med Ponsse EH 25 klippaggregat och Ponsse ELK skotare; medelstor skördare utrustad med ABAB 251 klippaggregat och en medelstor skotare.

Maskingrupp 2 (två maskinlag) bestod av en medelstor skördare utrustad med ett engreppsskördareaggregat och en medelstor skotare. I denna grupp ingick följande maskinlag: John Deere 770 skördare utrustad med John Deere 742 skördaraggregat och en John Deere 1110 skotare;

Valmet 901 skördare utrustad med Duo 330 skördaraggregat med tillsats för ackumulering och en medelstor skotare.

Maskingrupp 3 (ett maskinlag) bestod av en liten skördare utrustad med ett engreppsskördareaggregat och en liten skotare. I denna grupp ingick maskinlaget Vimek 404 T skördare utrustad med Keto Forst skördaraggregat och Novotny LVS5000 skotare.

Maskingrupp 4 (tre maskinlag) bestod av en medelstor drivare (baserad på en skotare) utrustad med ett ackumulerande fäll-gripaggregat. I denna grupp ingick följande maskinlag: a) Valmet 801 Biocombi drivare utrustad med Nisula 280E klippaggregat; b) Ponsse Dual drivare utrustad med Ponsse EH25 ackumulerande klippaggregat; c) samma maskin som a) ovan men i detta fall arbetade maskinen först som en skördare sedan som en skotare.

Vid skörd av välgkanter, åkerkanter och igenväxt åkermark, "vägröjning & kalavverkning", användes alla ovan beskrivna maskinlag med medelstora maskiner samt ett maskinlag med en standard Valmet 911 skördare och en skotare. Maskinkostnaderna beräknades som för maskingrupp 2 (se Tabell 1). Se även Tabell 2 och 3 för mer information på vissa av maskinerna beskrivna ovan. Gallringsinstruktionen var generellt att tall och gran skulle prioriteras som framtidsstammar.

Maskinkostnaden (kr/G₁₅-timme) för de olika maskinerna redovisas i tabell 1. För vissa avverkningsobjekt var även flyttkostnaden och kostnader för t.ex. motormanuell förröjning även angivet. Maskinkostnaden per avverkningsobjekt beräknades genom att multiplicera antalet redovisade arbetstimmar med timkostnaden samt addering av flyttkostnader och ev. extrakostnader, typ förröjning. Flyttkostanden per objekt och maskin var 1700 kr.

Tabell 1. Maskinkostnader för de olika maskingrupporna

Table 1. Hourly machine costs for the different machine groups

Maskingrupp	Maskintyp		
	Skördare	Skotare	Drivare
	(kr/G ₁₅ -timme)	(kr/G ₁₅ -timme)	(kr/G ₁₅ -timme)
1	826	746	-
2	961	786	-
3	550	528	-
4a och 4c	-	-	726
4b	-	-	1000

Intäkterna vid skörd av skogsbränsle baserades på ett pris fritt bilväg av 210 kr/m³ bio för osönderdelade träddelar (enl. Norra Skogsägarnas prislista 2010). Intäkterna vid skörd av massaved baserades på ett massavedspris fritt bilväg av 350 kr/m³ fub (enl. Norra Skogsägarnas prislista 2010). Intäkterna per avverkningsobjekt beräknades genom att multiplicera inmätta volymer med priset fritt bilväg. Nettointäkten per avverkningsobjekt beräknades som intäkt/ha minus avverkningskostnad/ha och redovisades som kr/ha.

Tre av de nio för vägröjnings- och kalavverkningsobjekten togs bort vid resultatberäkningar eftersom det för dessa saknades data på skördade volymer och arbetstimmar för maskinerna.

Tidsstudier

Avverkningsobjekt

Fältstudierna utfördes från maj till november 2010 i nio studieområden belägna i Västerbottens län (Fig. 1). Avverkningsobjekten ingick i Norra Skogsägarnas verksamhet och drivningsarbetet utfördes av Norra Skogsägarnas anlitade entreprenörer.



Figur 1. Kartbild över Västerbottenslän där de nio olika studieområdena markerats med stjärna.

Figure 1. Map over the county of Västerbotten in which the nine study areas have been marked with a asterisk.

Beståndsinventering

I varje avverkningsobjekt avsattes lämpliga områden för maskinstudier. Dessa studieområden inventerades i cirkelprovytor både före och efter skörd med en radie av 5 m och utlagda enligt figur 2. För att hitta tillbaka till cirkelprovytorna efter skörd markerades centrum på varje cirkelprovyta i fält och på karta. Vid inventering av stora områden markerades cirkelprovytorna även med en GPS-koordinat. På varje cirkelprovyta mättes trädens diameter i brösthöjd (dbh), underväxt (antal träd och art ≤ 3 cm i dbh) och eventuell utförd förröjning noterades. Dessutom mättes även dbh och höjd på minst 20 provträd i varje studieområde för framtagande av höjdkurvor som funktion av dbh för de olika trädslagen. Efter skörd inventerades dbh på kvarvarande träd. Terrängförhållanden inventerades enligt Berg's (1992) klassificeringssystem för grundförhållanden (G), ytstruktur (Y) och marklutning (L) som mäts i en femgradig skala där 1 anger ett lätt och 5 ett mycket svårt förhållande.

Skillnaden mellan inventering före och efter skörd användes för beräkning av skördad volym. För beräkning av trädens stamvolym (V), stammens torra massa (M) och hela trädets torra massa (inkl. grenar och barr) konstruerades funktioner baserade på Näslund (1947) och Ulvcróna et al. (2010):

Tall

$$\begin{aligned} V_{\text{stam}} &= \exp(-6,88 + 2,32 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{dm}^3 \text{sk}] \\ M_{\text{stam}} &= \exp(-8,78 + 2,54 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{kg TS}] \\ M_{\text{träd}} &= \exp(-8,16 + 2,49 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{kg TS}] \end{aligned}$$

Gran

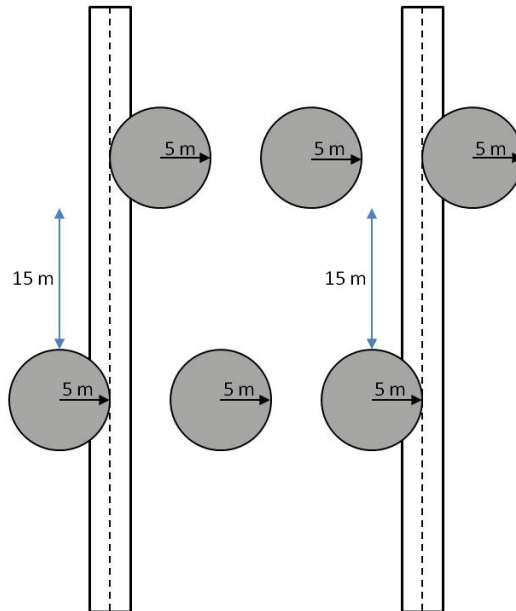
$$\begin{aligned} V_{\text{stam}} &= \exp(-9,57 + 3,02 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{dm}^3 \text{sk}] \\ M_{\text{stam}} &= \exp(-8,89 + 2,52 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{kg TS}] \\ M_{\text{träd}} &= \exp(-7,25 + 2,29 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{kg TS}] \end{aligned}$$

Löv (främst björk)

$$\begin{aligned} V_{\text{stam}} &= \exp(-6,62 + 2,25 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{dm}^3 \text{sk}] \\ M_{\text{stam}} &= \exp(-7,88 + 2,37 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{kg TS}] \\ M_{\text{träd}} &= \exp(-7,70 + 2,40 \times \ln(\text{dbh})) & [\text{kg TS}] \end{aligned}$$

dbh anges i mm.

För omräkning mellan torrsvikt och fastvolym användes ett generellt värde på torr-rådensitet av 500 kg TS/m³f, enligt Hakkila (1978).



Figur 2. Schematisk beskrivning av utläggningen av cirkelprovytor för beståndsinventering. Rektangulära fält med streckad centrumlinje indikerar stickvägar.

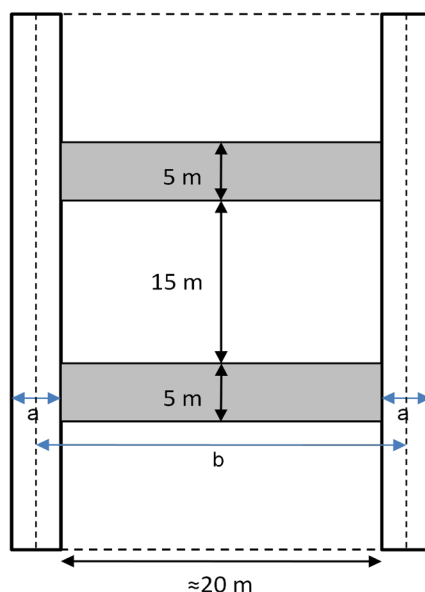
Figure 2. Schematic sketch of the layout of circular plots for stand inventory and strip roads (rectangles).



Figur 3. Ett skogsbestånd före gallring (till vänster) och efter gallring (till höger).

Figure 3. View of one of the studied stands; before harvest (left) and after harvest (right).

Efter skörd utfördes även inventering av stamskador på kvarvarande stammar och på stubbhöjden. Dessa mätningar utfördes i rektangulära provytor som placerades mellan stickvägar och med 15 m mellanrum (Fig. 4). En skada definierades som att barken fläks av och gjort stamveden synligt och registrerades som en skada oavsett dess storlek (jmf. Wallentin 2007). Inventeringen utfördes både före och efter att biomassan skotats ut. Minst tre transekter per studieyta lades ut. Även stubbarnas höjd mättes i transekterna och stickvägsbredd och avståndet mellan stickvägar mättes i anslutning till transekterna (Fig. 4).



Figur 4. Schematisk figur över utläggning av transekter (grå fält) mellan stickvägar för inventering av stamskador och stubbhöjd, samt inmätning av stickvägsbredd (a) och avstånd mellan stickvägar (b).
Figure 4. Schematic sketch of the layout of transects (grey fields) used for inventory of stem damage and stump height and the measurements of strip road width (a) and distance between strip roads (b).

Beskrivning av maskiner och drivningssystem

Skördare

Tre olika skördare tidsstuderades (Tabell 2 & Fig. 5-7), två medelstora (skördare 1 & 2) och en liten (skördare 3). Alla skördare var fyrhjuliga och utrustade med kedjor på hjulen.

Tabell 2. Beskrivning av studerade skördare
Table 2. Description of the studied harvesters

Skördare	Basmaskin			Kran		Aggregat		
	Fabrikat och modell	Effekt (kW)	Massa (ton)	Fabrikat och modell	Räckvidd (m)	Fabrikat och modell	Massa (kg)	Max kap-diameter (cm)
1	John Deere 770D	82	11,5	Timber Jack 140 H89	9,2	Ponsse EH 25	530	25
2	John Deere 770D	82	11,5	Timber Jack 140 H89	9,2	John Deere H742	800	47
3	Vimek 404T	44	4,1	Mowi 2046	4,6	Keto Forst	300	30



Figur 5. Gallringsskördare John Deere 770D utrustad med Ponsse EH 25 ackumulerande fällaggregat.
Figure 5. The John Deere 770D thinning harvester equipped with the Ponsse EH 25 accumulating felling head.



Figur 6. Gallringsskördare John Deere 770D utrustad med John Deere H742 skördaraggregat anpassat för flerträdshantering.
Figure 6. The John Deere 770D thinning harvester equipped with the John Deere H742 harvester head (used for multi tree handling and processing).



Figur 7. Gallringsskördare Vimek 404 T utrustad med Keto Forst skördareaggregat för kvistning av en stam i taget.
Figure 7. The Vimek 404 T thinning harvester equipped with the Keto Forst single-grip harvester head (used for multi tree handling and processing).

Skotare

Tre olika skotare studerades (Tabell 3 & Fig. 8-10), två medelstora (skotare 1 & 2) och en liten (skotare 3). Alla skotare var åttahjuliga (två boggiepar). Skotare 1 och 2 var utrustade med band och skotare 3 hade kedjor endast på det bakre boggieparet.

Tabell 3. Beskrivning av studerade skotare

Table 3. Description of the studied forwarders

Skotare	Basmaskin				Kran		Aggregat/virkesgrip	
	Fabrikat och modell	Effekt (kW)	Massa (ton)	Lastarea (m ²)	Fabrikat och modell	Räckvidd (m)	Fabrikat och modell	Griparea (m ²)
1	John Deere 1110D	120	15,3	4,5	CF5	8,5	Hultdins Super Grip	0,36
2	Ponnse Elk	129	15,6	4,5	Ponsse K90 M	10,0	Hultdins Super Grip II	0,36
3	Novotny LVS 5000	60	5,9	2,1	Cranab FC 45 Tele	6,1	Cranab virkesgrip	0,20



Figur 8. John Deere 1110D skotare.

Figure 8. The John Deere 1110D forwarder.



Figur 9. Ponsse Elk skotare.

Figure 9. The Ponsse Elk forwarder.



Figur 10. Novotny LVS 5000 skotare.

Figure 10. The Novotny LVS 5000 forwarder.

Drivaren

Endast en drivare studerades. Detta var en Vimek 608 Biokombi med en massa på 3,7 ton, en motoreffekt på 18,3 kW och utrustad med en Mowi P25 kran med en räckvidd på 5,2 m (Fig. 11 & 12). Under studierna var maskinen utrustad med antingen ett Vimek 160 ackumulerande klippgripaggregat med en massa på 150 kg som kan klippa stammar upp till 16 cm i diameter (Fig. 11), eller med en Hypro gripsåg med en massa på 125 kg som kan kapa stammar upp till 35 cm i diameter (Fig. 12). Maskinens lastutrymme var utrustat med komprimerande laststöttor och hade en lastarea av 2,1 m². Maskinen var sexhjulig och utrustad med band på bakvagnens boggiepar samt med kedjor på framvagnens hjul.



Figur 11. Vimek 608 Biokombi drivare utrustad med Vimek 160 klippgrip.

Figure 11. The Vimek 608 Biocombi harvester equipped with the Vimek 160 head designed for both cutting and loading of trees.



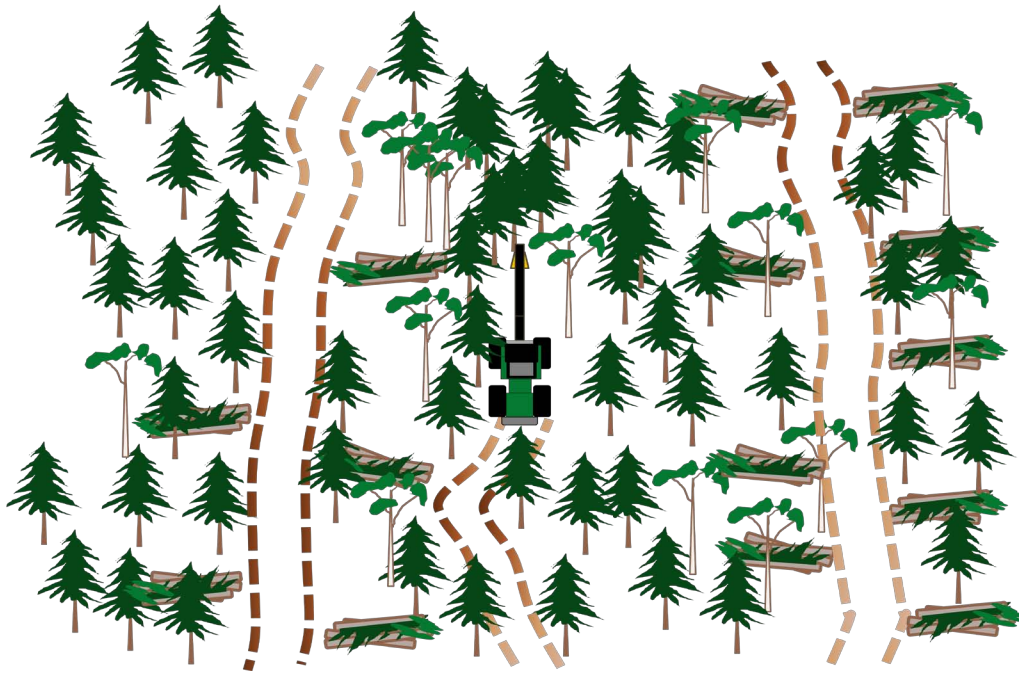
Figur 12. Vimek 608 Biokombi drivare utrustad med Hypro gripsåg.

Figure 12. The Vimek 608 Biocombi harvester equipped with the Hypro grapple-saw head.

Under försöksperioden användes 11 olika maskinförare vilka i medeltal hade 2 års erfarenhet av gallringsarbete.

Arbetsmetodik

Vid gallringsarbetet arbetade skördaren både från stickvägen och i ett stråk i mellanzonen mellan stickvägar (Fig 13). Uttaget utfördes som selektiv gallring underifrån. Med denna metod beräknades stickvägsavståndet bli ca 25 m. Om stickvägens sträckning mellan t.ex. två huvudvägar beräknades bli kortare än ca 50 m så gallrades endast från stickvägar, dvs. ingen gallring från mellanzon utfördes, vilket då gav ett stickvägsavstånd på ca 20 m. Vid fällningsarbete från stickväg så kapades stammarna över stickvägen och virket höglades sedan vinkelrätt med rotändan mot stickvägen, ca 2,5 m från stickvägscentrum. Träden som fälldes från mellanzonen kapades också dessa i körvägen och höglades med toppen mot stickvägen. Skotaren arbetade efter stickvägen i motsatt körriktning som skördaren och lastade från båda sidor om stickvägen. När ett fullt lass uppnåts skotades biomassan till bilväg.



Figur 13. Schematisk beskrivning av placering av stickvägar och stråk i zonen mellan stickvägar vid gallring av skogsbränsle. Skördaren på bilden arbetar i mellanzonen.

Figure 13. Schematic sketch of the fuel wood thinning operation where the locations of strip roads and the in-stand work in the middle-zone (current position of the harvester) is shown.

Drivaren arbetade från stickväg med ett stickvägsavstånd på ca 10-12 m. Maskinen fällde, kapade och lastade träddelarna och skotade sedan biomassan till bilväg. Drivaren arbetade med två olika metoder (beroende på vilken förare som körde):

1) maskinen backade in i beståndet och fällde stickvägsträd och träd vid sidan av stickvägen (in i beståndet). Dessa träd kapades till träddelar med längder av ca 4,5 m och lades i högar vid sidan om stickvägen (Fig. 14a.1). Därefter, när en sträcka motsvarande ett fullt lass fällts (ca 30-50 m), så körde maskinen tillbaka och lastade träddelarna (Fig. 14a.2);

2) maskinen backade in i beståndet och fällde endast stickvägsträd som lades i högar längs stickvägen (Fig. 14b.1). När en sträcka motsvarande ett fullt lass skördats så körde den tillbaka och lastade stickvägsträd samt skördade träd vid sidan om stickvägen som också de lastades (Fig. 14b.2). De lastade träddelarna komprimerades när ca ett halvt lass uppnåts (ca halva höjden på laststöttorna).

Resultat

Driftsuppföljning

Från de 43 avverkningsobjekten skördades totalt 16179 m³f bio (12943 råton eller 7248 ton TS med en fukthalt på 44%) skogsbränsle och 1906 m³fub massaved. Den totalt skördade arealen var 295 ha och medelobjektets areal var 6,9 ha. I medeltal levererades skogsbränslet till industri 2,4 månader efter skörd. Bränslet hade vid leverans en fukthalt av i medeltal 44% av rå vikt (max 56% , min 35%). Beståndstätheten på ”gallringsobjekten” och ”vägröjning & kalavverkningsobjekten” var lika, ca 7100 stammar/ha, men den skördade mängden biomassa per ha var med än dubbelt så hög vid det senare (Tabell 4).

Tabell 4. Beståndens/avverkningsobjektens karaktäristik före och efter avverkning samt skördade volymer uppdelat per avverkningstyp (34 gallringsobjekt och 9 vägröjnings- och kalavverkningsobjekt)
Table 4. The characteristics of the harvesting objects before and after harvest given in average, min. and max values for 34 thinning objects and 9 road- and arable land cleaning objects

Bestånd före avverkning	Gallring			Vägröjning & kalavverkning		
	medel	min	max	medel	min	max
Träd/ha (> 3cm i dbh)	7092	4145	14689	7107	4775	7998
Träd/ha (> 5cm dbh)	3198	2473	4443	2455	2149	3332
Aritmetrisk dbh (cm)	7,1	5,0	9,0	6,6	5,7	7,5
Grundtevägd dbh (cm)	8,2	5,4	10,3	7,8	6,6	9,0
Höjd (m)	8,3	5,3	9,9	8,2	7,8	8,6
Medelstamvolym (dm ³ sk)	28	11	48	26	17	35
Stående volym ¹ (m ³ sk/ha)	184	132	253	130	33	273
Skörd						
Stamvolym ² (m ³ fub/ha)	52	21	96	130	33	273
Biomassa ³ (rå vikt) (ton/ha)	42	17	77	104	26	219
Biomassa ⁴ (torr vikt) (ton TS/ha)	23	10	43	58	15	123
Bestånd efter avverkning						
Stammar/ha (> 3cm i dbh)	2569	1272	4563	-	-	-
Stammar/ha (> 5cm i dbh)	1557	841	2368	-	-	-

¹I gallringsbestånden beräknades volymen genom att multiplicera medelstamvolymen med antalet stammar per ha med dbh > 3 cm, och i vägröjningsobjekten och kalavverkningsobjekten beräknades denna volym vara densamma som den skördade och inmätta/vägda volymen. ²Den skördade volymen beräknades som summan av inmätta volymer (både skogsbränsle och massaved) delat med skördad areal. ³Beräknat med antagandet att 1 m³f= 800 kg rå ved. ⁴Beräknat med en fukthalt på 44% (av rå vikt).

I medeltal hade bestånden/avverkningsobjekten en trädslagsblandning på 41% tall, 29% gran och 30% björk baserat på antal träd per ha. Efter skörd hade bestånden i medeltal en trädslagsblandning av 57% tall, 23% gran och 20% björk. I medeltal, för alla avverkningsobjekt, var skotningsavståndet 228 m (min 50 m och max 600 m).

I de 34 gallringsobjekten skördades i medeltal 52 m³f bio/ha (min 21 och max 96 m³f bio/ha) skogsbränsle med en medelstamvolym av 25 dm³sk. I 9 av de 34 gallringsobjekten utfördes en integrerad skörd av både skogsbränsle och massaved där i medeltal 37 m³f bio/ha skogsbränsle och 11 m³fub/ha massaved skördades med en medelstamvolym av 36 dm³sk.

I vägröjningsobjekten var medelstamvolymen 26 dm³f vilket var liknande som i gallringsobjekten. Den skördade mängden biomassa i vägröjningen var 130 m³f bio per ha vilket var mer än dubbelt så högt som i gallring som i medeltal gav 52 m³f bio/ha. I de 27 gallringsobjekten som skördades med skördare och skotare blev kostnaden för skördaren 9213 kr/ha och för skotaren 6751 kr/ha. Detta gav en total avverkningskostnad på 15965 kr/ha i medeltal där skördaren stod för 58% av totala

avverkningskostnaden. I de 7 gallringsobjekten som skördades med drivaren blev den totala avverkningskostnaden 19599 kr/ha i medeltal. I fem av de sex återstående objekten som avverkades med skördare och skotare blev kostnaden för skördaren 91383 kr/ha och för skotaren 9344 kr/ha. Den totala kostnaden blev således 18482 kr/ha av vilket skördarens kostnad stod för 49%. Drivaren skördade endast ett av vägröjnings- och kalavverkningsobjekten, vilket hade en hög biomassa (273 m³f bio/ha), och där blev kostnaden 53280 kr/ha.

Flyttkostnaden för både skördaren och skotaren blev i medeltal 3354 kr/gallringsobjekt vilket gav en flyttkostnad på 489 kr/ha för ett medelobjekt på 6,9 ha. Denna flyttkostnad motsvarade då 3% av den totala kostnaden. Drivarens flyttkostnad blev 245 kr/ha, vilket motsvarade 1,2% av totala kostnaden. I 11 av de 34 gallringsobjekten utfördes en motormanuell förröjning vilket i medeltal kostade 1783 kr/ha.

I medeltal blev intäkten i gallringsobjekten 11365 kr/ha (min 4473, max 20218 kr/ha). I 79% av dessa objekt var intäkten mindre än 15000 kr/ha. I medeltal var intäkten vid gallring av skogsbränsle och integrerad gallring av både skogsbränsle och massaved 11301 kr/ha respektive 11509 kr/ha. I vägröjnings- och kalavverkningsobjekten var intäkten i medeltal 29687 kr/ha (min 6846 kr/ha, max 57809 kr/ha). Nettointäkten blev positiv i endast två av de 34 gallringsobjekten och i ett av de sex vägröjnings- och kalavverkningsobjekten. I gallringsobjekten blev nettointäkten i medeltal -5842 kr/ha (min -16543, max 2130 kr/ha) och i kalavverkningsobjekten i medeltal -3397 kr/ha (min 8001 kr/ha, max 2610 kr/ha). I medeltal var nettointäkten i gallring av skogsbränsle och integrerad gallring -6781 kr/ha respektive -3341 kr/ha.

I tabeller 5-8 redovisas skördade volymer, produktivitet, kostnader, intäkter och netto uppdelat på typ av avverkning (gallring av skogsbränsle, integrerad gallring av skogsbränsle och massaved, vägröjning av skogsbränsle och integrerad kalavverkning av skogsbränsle och massaved) och maskingrupp.

Tabell 5. Ekonomiskt utfall för de olika maskingrupperna i gallring av skogsbränsle

Table 5. The economical outcome of fuel wood thinning for the respective machine groups

	Maskingrupp					
	1	2	3	4a	4b	4c
Antal avverkningsobjekt	13	2	3	5	1	1
Medelstam före skörd (dm ³ sk)	27	- ^{a)}	27	22	- ^{a)}	27
Skördad volym (m ³ f bio/ha)	56	55	54	72	38	26
Skotningsavstånd (m)	267	175	183	126	75	200
Produktivitet, skördare (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	4,7	4,0	5,9	-	-	3,9
Produktivitet, skotare (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	5,6	8,3	5,0	-	-	6,4
Produktivitet, drivare (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	-	-	-	2,3	4,6	
Kostnad, skördare (kr/ha)	10595	16001	5532	-	-	6327
Kostnad, skotare (kr/ha)	7908	5087	6062	-	-	3296
Kostnad, drivare (kr/ha)	-	-	-	21891	8140	
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/ha)	18992	21578	12083	22136	8384	9867
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/m ³ f bio)	399	392	224	307	221	380
Intäkt (kr/ha)	11780	11595	11416	15096	7881	5518
Nettointäkt (kr/ha)	-7212	-9982	-667	-7039	-503	-4350

a) Data saknas.

Nettointäkten blev i medeltal negativ för alla maskingrupper i gallring av skogsbränsle (Tabell 5). Minst negativt netto gav maskingrupper 3 och 4b, dvs, system med liten skördare och skotare respektive system med drivare baserat på skotare.

Tabell 6. Ekonomiskt utfall för de olika maskingrupperna i integrerad gallring av både skogsbränsle och massaved

Table 6. The economical outcome of integrated fuel- and pulpwood thinning

	Maskingrupp		
	1	2	3
Antal avverkningsobjekt	1	7	1
Medelstam före skörd (dm ³ sk)	- ^{a)}	32	48
Skördad volym skogsbränsle (m ³ f bio/ha)	67	30	50
Skördad volym massaved(m ³ fub/ha)	9	12	5
Skotningsavstånd (m)	50	256	250
Produktivitet, skördare ¹ (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	4,3	6,3	4,8
Produktivitet, skotare ¹ (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	5,3	6,8	3,1
Kostnad, skördare (kr/ha)	14187	6405	6292
Kostnad, skotare (kr/ha)	10750	5046	8506
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/ha)	25425	11940	15286
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/(m ³ f bio+m ³ fub))	335	284	278
Intäkt (kr/ha)	17345	10588	12122
Nettointäkt (kr/ha)	-8080	-1352	-3165

a) Data saknas. ¹Beräknades som summan av skördade volymer skogsbränsle och massaved per ha delat med antal arbetstimmar per ha.

Nettointäkten blev i medeltal negativ för alla maskingrupperna i den integrerade gallringen (Tabell 6).

Tabell 7. Ekonomiskt utfall för de olika maskingrupperna i vägröjnings- och kalavverkningsobjekten där skogsbränsle skördades

Table 7. The economical outcome of fuel wood harvest in road- and farmland cleaning

	Skördare och skotare
Antal avverkningsobjekt	3
Medelstam före skörd (dm ³ sk)	35
Skördad volym skogsbränsle (m ³ f bio/ha)	88
Skotningsavstånd (m)	217
Produktivitet, skördare ¹ (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	7,3
Produktivitet, skotare ¹ (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	5,7
Kostnad, skördare (kr/ha)	8256
Kostnad, skotare (kr/ha)	10558
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/ha)	19303
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/m ³ f bio)	219
Intäkt (kr/ha)	18454
Nettointäkt (kr/ha)	-849

¹Beräknades som summan av skördade volymer skogsbränsle och massaved per ha delat med antal arbetstimmar per ha.

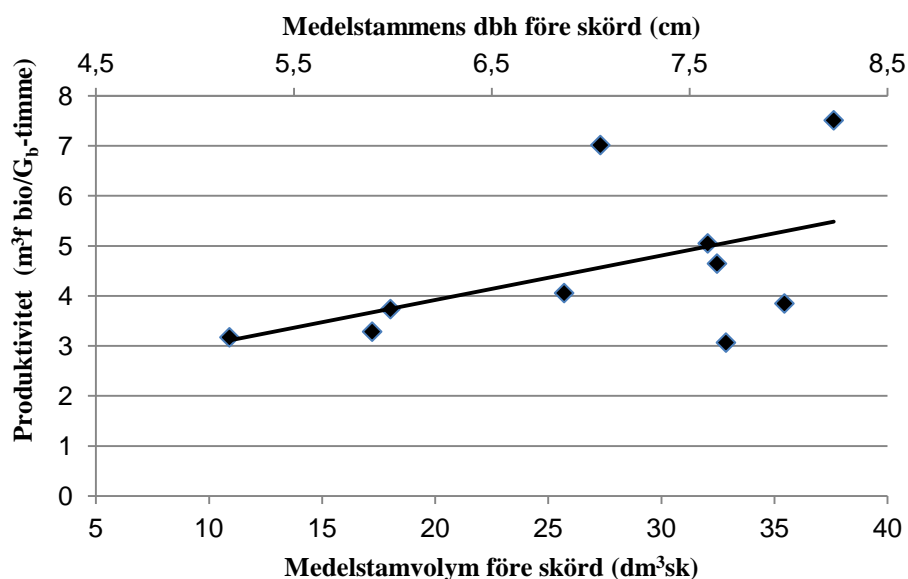
Tabell 8. Ekonomiskt utfall för de olika maskingrupperna i kalavverkningsobjekten med integrerad skörd av både skogsbränsle och massaved

Table 8. The economical outcome of integrated fuel- and pulpwood harvest in road- and arable land cleaning

	Maskingrupp	
	Skördare och skotare	Drivare
Antal avverkningsobjekt	2	1
Medelstam före skörd (dm ³ sk)	a)	a)
Skördad volym skogsbränsle (m ³ f bio/ha)	74	270
Skördad volym massaved(m ³ fub/ha)	25	3
Skotningsavstånd (m)	325	250
Produktivitet, skördare ¹ (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	6,6	-
Produktivitet, skotare ¹ (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	11,0	-
Produktivitet, drivare (m ³ f bio/G ₁₅ -timme)	-	3,8
Kostnad, skördare (kr/ha)	10462	-
Kostnad, skotare (kr/ha)	7522	-
Kostnad, drivare (kr/ha)	-	53280
Systemkostnad, inkl. flyttkostnad (kr/ha)	18472	53524
Systemkostnad, inkl. flyttkostnader (kr/(m ³ f bio+m ³ fub)	187	196
Intäkt (kr/ha)	24393	57809
Nettointäkt (kr/ha)	5921	4285

a) Data saknas.¹Beräknades som summan av skördade volymer skogsbränsle och massaved per ha delat med antal arbetstimmar per ha.

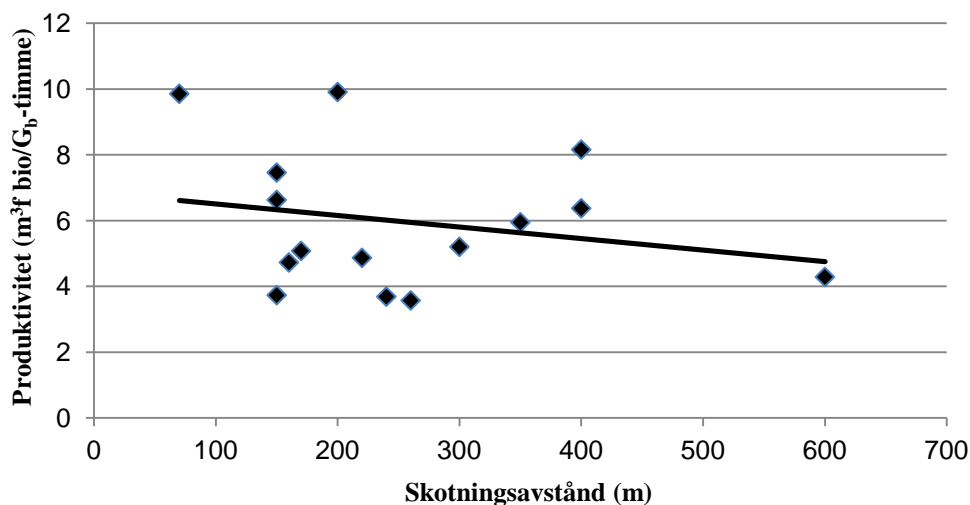
Figur 15 visar hur skördarens produktivitet förändras vid olika medelstam före skörd och figur 16 hur skotarens produktivitet förändras vid olika skotningsavstånd. Figur 17 visar hur kostnaden, kr per skördad m³f bio, exklusive flyttkostnader, för systemet med skördare och skotare förändras vid olika medelstam före skörd och skotningsavstånd.



Figur 15. Medelstor skördares produktivitet som funktion av medelstamvolymen före skörd i gallring av skogsbränsle i 10 olika avverkningsobjekt.

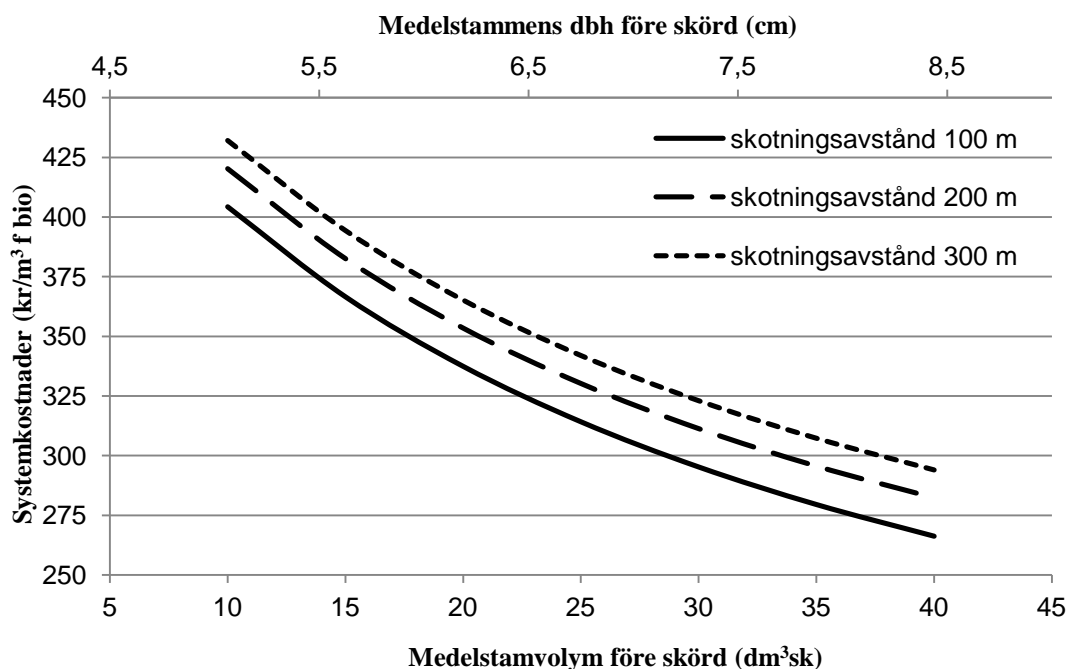
Figure 15. The productivity of an average-sized harvester as a function of the harvested tree size in fuel wood thinning. (10 harvesting objects).

Figur 16 visar en medelstor skotares produktivitet (medelproduktivitet från maskingrupper 1 och 2) vid skotning av skogsbränslen i gallring som funktion av skotningsavståndet.



Figur 16. Medelstor skotares produktivitet vid skotning av skogsbränsle i gallring som funktion av skotningsavstånd. (Antal avverkningsobjekt = 15).

Figure 16. The productivity of an average-sized forwarder in fuel wood thinning as a function of the forwarding distance. (15 harvesting objects).



Figur 17. Systemkostnaden för skördaren och skotaren, exklusive flyttkostnader, vid gallring av skogsbränsle som funktion av skördad medelstam före skörd och skotningsavstånd.

Figure 17. The total costs of a harvester-forwarder system in fuel wood thinning as a function of the harvested tree size and forwarding distance (excl. relocation costs).

Tidsstudier

Totalt studerades maskinerna vid gallring av skogsbränsle i 111 maskintimmar, där även avbrotts-tid kortare än 15 min inkluderats, dvs i 111 G_{15} -timmar. Av denna tid studerades skördaren i 26 G_{15} -timmar, skotaren i 50 G_{15} -timmar och drivaren i 35 G_{15} -timmar. Skördare och skotaresystemen studerades i 10 bestånd (studieytor) (Tabell 9).

Tabell 9. Karaktäristik och skördad biomassa vid gallring av skogsbränsle på 10 studieytor Skö=skördare, Skot=skotare, T=tall, G=gran, B=björk, G.Y.L. enligt Berg (1992)

Table 9. Characteristics of the 10 study units before harvest and the harvested biomass in fuel wood thinning from six different harvesting objects.

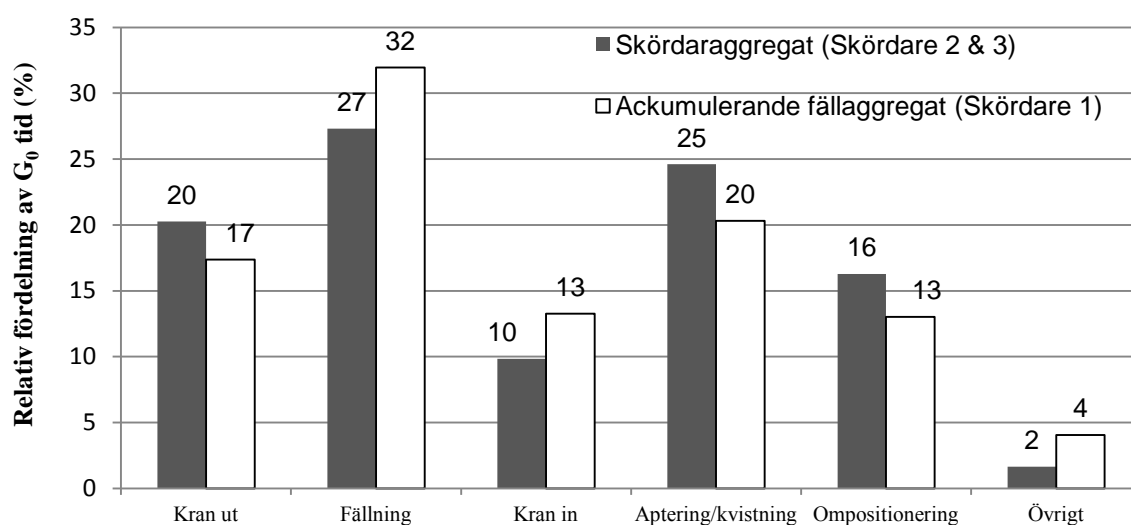
Skö=harvester, Skot=forwarder, T=pine, G=spruce, B=birch, G.Y.L=ground classification system according to Berg (1992)

Studieytor	Selsberg	Bränn.1	Bränn.2	Bränn.3	Åkulla	Brednor.1	Brednor.2	Kåsböle	Bureå.1	Bureå.2
G.Y.L.	2.2.2	1.2.1	1.1.1	2.2.1	1.1.1	1.1.1	1.1.1	1.2.1	1.1.1	1.1.1
Studerade maskiner	Skö+Skot	Skö+Skot	Skö	Skö	Skö+Skot	Skö	Skö	Skö+Skot	Skot	Skot
Före skörd										
Trädslagsfördelning (T:G:B) (%)	23:27:50	82:6:12	34:16:50	1:7:92	50:8:42	47:3:50	48:6:46	84:8:8	82:11:7	47:47:6
Densitet (stammar/ha)	2372	2276	3910	4712	3269	3782	4391	3226	3162	2821
Grundyta (m ² /ha)	24	15	15	17	23	11	20	21	15	21
Aritmetrisk dbh (cm)	10,4	8,3	6,7	6,2	8,8	5,9	6,7	8,7	7,1	9,1
Grundytevägd dbh (cm)	11,5	9,1	7,1	6,7	9,4	6,2	7,4	9,3	7,7	9,8
Hejd (m)	11,3	9,3	9,1	8,8	9,8	6,8	7,7	10	8,1	10,0
Medelstam (dm ³ sk)	63	38	20	18	40	15	28	39	25	46
Stamvolym (m ³ sk/ha)	149	86	79	84	132	57	121	125	80	129
Biomassa, hela träd, (m ³ bio/ha)	211	121	110	107	184	79	161	175	113	187
Biomassa (ton TS/ha)	97	54	50	55	84	34	74	78	49	79
Underväxt (stammar/ha:typ)	Förröjd	-	500:G	801:G	994:T	215:T	2692:G	-	-	-
Skörd										
Densitet (stammar/ha)	1303	1282	1731	3269	1699	2564	3077	1603	1453	1239
Grundyta (m ² /ha)	8	6	7	9	10	6	10	7	4	5
Gallringsstyrka (% av grundyta)	33	42	43	52	43	55	52	34	29	26
Aritmetrisk dbh(cm)	8,4	7,5	6,6	5,5	7,9	5,4	6,0	7,3	5,8	7,2
Grundytevägd dbh (cm)	8,8	7,8	7,0	5,8	8,6	5,6	6,3	7,6	6,1	7,5
Medelstam (dm ³ sk)	35	26	20	13	32	12	18	22	15	23
Stamvolym (m ³ sk/ha)	45	33	34	42	55	30	55	35	22	29
Biomassa, hela träd, (m ³ bio/ha)	63	47	47	57	76	41	73	50	30	42
Biomassa (ton TS/ha)	28	20	22	27	35	18	33	21	13	18
Min dbh (cm)	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4

I medeltal hade studieytorna/bestånden 3392 träd/ha före skörd av vilket 1470 träd/ha skördades. Detta uttag motsvarade en gallringstyrka av 41% (av grundytan). I gallring med skördare och skotare så vägde högarna av biomassa mellan 150-350 kg (rå vikt).

Skörd

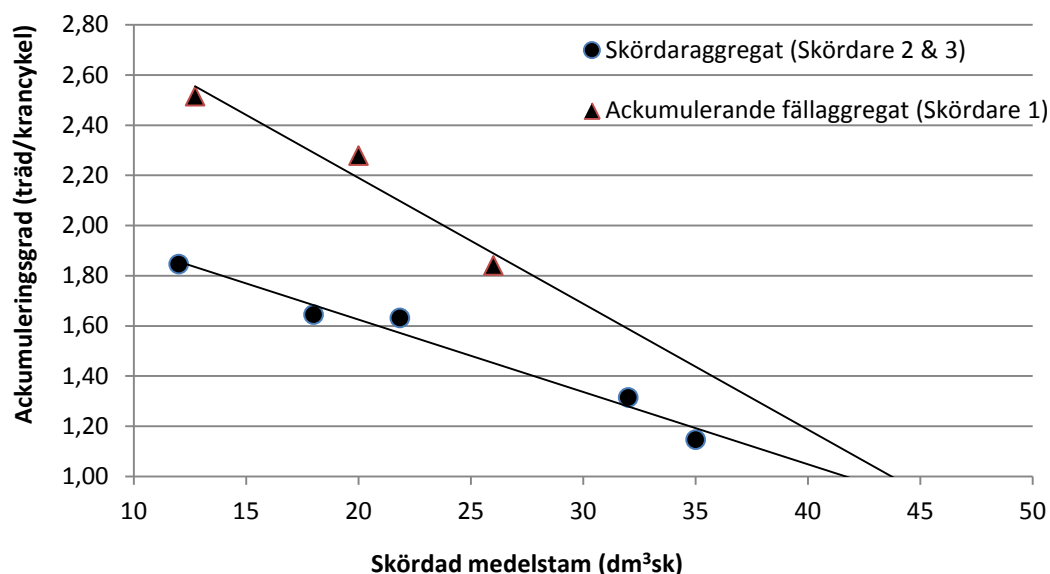
Skördarna (skördare 1-3, Tabell 2) studerades i 8 olika studieytor (se Tabell 9) och minst 2 G_{15} -timmar per yta. Av denna tid utgjorde avbrottstid 7% i medeltal för alla maskiner och bestånd, vilket gav en produktiv arbetstid (G_0 tid) på 24,2 timmar; skördare 1 (ackumulerande fällaggregat) studerades i 6,2 G_0 -timmar och skördare 2 och 3 (skördaraggregat) i 18,0 G_0 -timmar. Av total G_0 tid utgjorde fällningsarbetet 27% vid skörd med skördaraggregaten och 32% vid skörd med det ackumulerande fällaggregatet (Fig. 18). I medeltal utgjorde övrig tid i medeltal 3% av G_0 tid, vilket ökade till 8% i ett av bestånden som innehöll 900 stammar/ha av granunderväxt.



Figur 18. Fördelning av skördarens G_0 tid vid skörd av skogsbränsle med skördaraggregat respektive ackumulerande fällaggregat.

Figure 18. The harvesters' effective work time consumption in fuel wood thinning when using either a harvester head or an accumulating felling head.

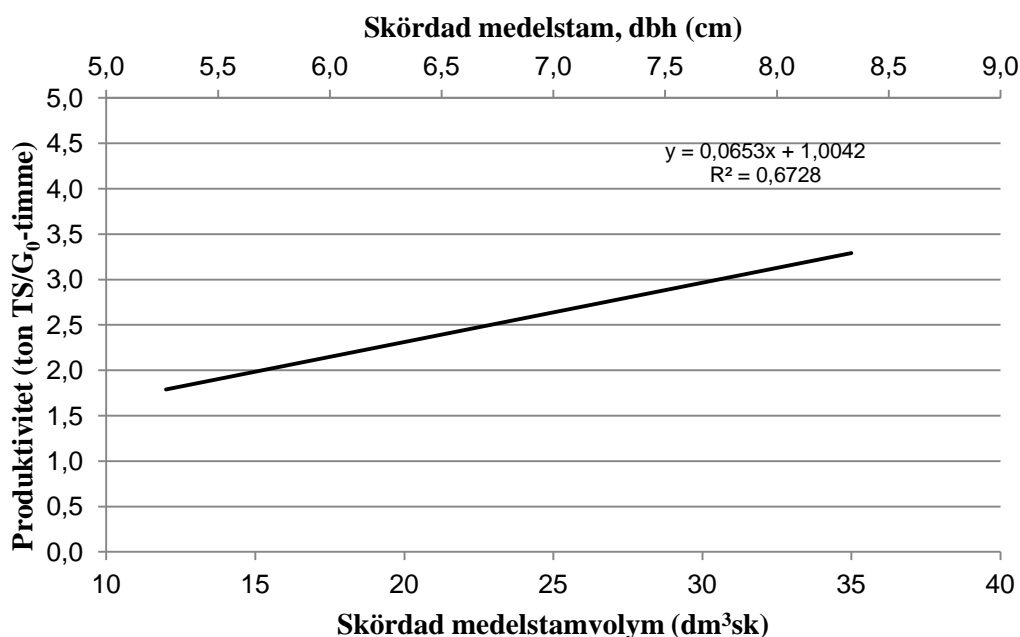
Antalet ackumulerade träd per krancykel minskar linjärt med ökad medelstam (Fig. 19). Vid en medelstamvolym på $20 \text{ dm}^3/\text{sk}$ så ackumulerade skördaraggregaten i medeltal 1,6 träd/krancykel och det ackumulerande fällaggregatet hanterade 2,2 träd/krancykel.



Figur 19. Antal ackumulerade träd per krancykel för skördaraggregat respektive ackumulerande fällaggregat som funktion av skördad medelstam.

Figure 19. The number of accumulated stems per crane-cycle for the harvester head and the accumulating felling head as a function of the harvested tree size.

Vid en skördad medelstam på 20 dm³sk så var produktiviteten på de tre skördarna i medeltal 2,3 tonTS/G₀-timme. Skördarens produktivitet ökade linjärt med ökad medelstam (Figur 20).

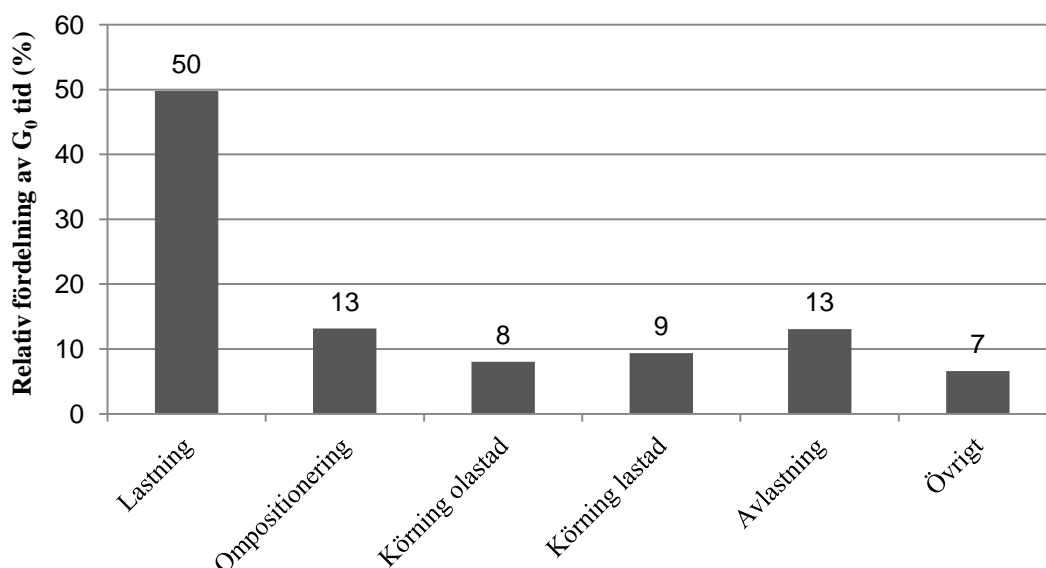


Figur 20. Skördarens produktivitet som funktion av skördad medelstam i medeltal för tre skördare.

Figure 20. The harvester productivity as a function of harvested tree size (average for the tree studied harvesters).

Skotning

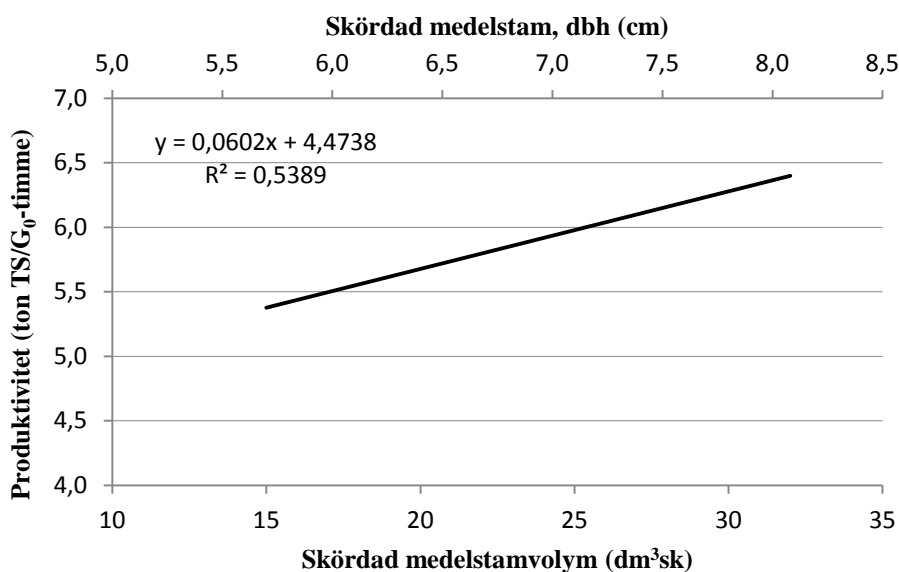
I medeltal utgjorde avbrotttiden 6% av skotarens G₁₅-tid vilket gav en G₀-tid på 47 timmar. I medeltal spenderade skotaren ca 50% av G₀-tiden på lastningsarbete (Fig. 21). I medeltal vägde de medelstora skotarnas lass 6,4 råton (3,2 ton TS) och totalt studerades 45 lass. För den mindre skotaren var lastvikten i medeltal 2,8 råton/lass (1,4 ton TS/lass) och totalt studerades 25 lass.



Figur 21. Fördelning av skotarens G₀-tid vid skotning av träddelar i medeltal för tre skotare vid ett skotningsavstånd på 100 m.

Figure 21. The effective working time consumption of the forwarder in fuel wood thinning at a forwarding distance of 100 m. Average values for the three studied machines.

Skotarnas produktivitet ökade linjärt med ökad medelstam (Figur 22).



Figur 22. Medelstor skotares produktivitet vid skotning av träddelar som funktion av skördad medelstam vid ett skotningsavstånd på 100 m och en lastvikt på 3,2 ton TS.

Figure 22. The productivity of an average-sized forwarder at a forwarding distance of 100 m in fuel wood thinning as a function of harvested tree size (based on a load capacity of 3.2 dry tonnes).

Den mindre skotarens produktivitet var 2,3 ton TS/G₀-timme vid skotning av en medelstamvolym på 35 dm³sk och ett skotningsavstånd på 100 m.

Avverkning och skotning med drivare

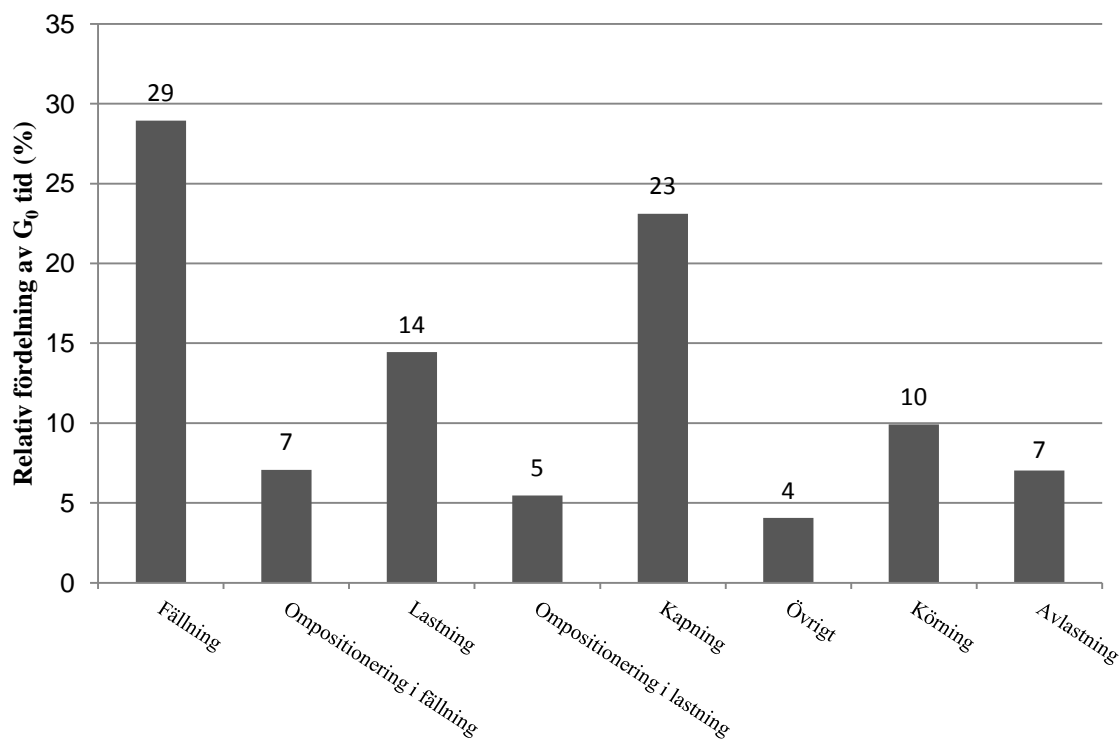
I medeltal hade bestånden som skördades med drivaren en densitet på 4088 träd/ha före skörd och i medeltal skördades 2197 träd/ha vilket motsvarar en gallringsstyrka på 36% av grundytan (Tabell 10). Medelstammens volym och dbh före skörd var 37 dm³sk respektive 8,2 cm. Den skördade medelstammens volym och dbh var 23 dm³sk respektive 6,9 cm. I medeltal skördades 29 ton TS/ha.

Tabell 10. Karaktäristik på studieytor före skörd och skördad biomassa med drivare i två olika avverkningsobjekt vid gallring av skogsbränsle. T=tall, G=gran, B=björk, G.Y.L. enligt Berg (1992)

Table 10. Characteristics of the study units before harvest and the harvested biomass in fuel wood thinning with a harwarder from two different harvesting objects. T=pine, G=spruce, B=birch, G.Y.L=ground classification system according to Berg (1992)

Studieytor	Burträsk.1	Burträsk.2	Burträsk.3	Bygdsiljum.1	Bygdsiljum.2	Bygdsiljum.3
G.Y.L.	3.1.1	3.1.1	3.1.1	2.1.1	2.1.1	2.1.2
<u>Före skörd</u>						
Trädslagsfördelning (T:G:B) (%)	10:33:57	40:47:13	82:10:8	2:25:73	27:27:46	34:33:33
Densitet (stammar/ha)	4038	4359	3141	4145	5641	3205
Grundyta (m ² /ha)	25	28	32	18	19	25
Areitmetrisk dbh (cm)	8,1	8,4	10,5	7,1	6,2	9,1
Grundytevägd dbh (cm)	8,8	9,1	11,4	7,4	6,5	10,0
Höjd (m)	8,5	8,7	11,1	7,8	7,0	10,0
Medelstam (dm ³ sk)	35	38	64	22	16	47
Stamvolym (m ³ sk/ha)	140	165	202	93	91	152
Biomassa, hela träd, (m ³ bio/ha)	199	239	284	130	123	211
Biomassa (ton TS/ha)	89	103	128	60	59	98
Underväxt (stammar/ha:typ)	1731:G	1987:G	321:B	-	-	-
<u>Skörd</u>						
Densitet (stammar/ha)	2564	2692	1218	1966	3333	1410
Grundyta (m ² /ha)	11	10	8	7	8	6
Gallringsstyrka (% av grundyta)	46	36	25	41	45	24
Aritmetrisk dbh (cm)	7,0	6,6	8,5	6,7	5,5	7,1
Grundytevägd dbh (cm)	7,5	7,0	9,1	6,9	5,7	7,5
Medelstam (dm ³ sk)	23	21	38	19	12	23
Stamvolym (m ³ sk/ha)	59	56	47	37	39	32
Biomassa (m ³ bio/ha)	83	83	69	51	53	44
Biomassa (ton TS/ha)	39	35	29	24	25	20
Min dbh (cm)	4	3	4	3	3	4

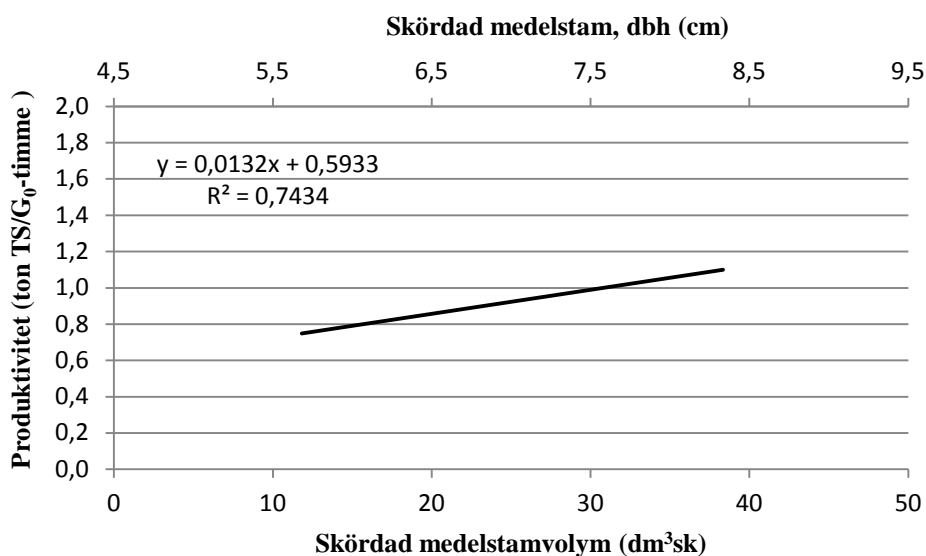
Av drivarens arbetstid så utgjorde avbrottsid 5% vilket gav en total G_0 -tid på 33,3 timmar. Totalt skördades och skotades 25 lass, fördelat på två olika bestånd och sex olika studieytor (Tabell 10). I medeltal spenderade drivaren mest tid på fällnings- och kapningsarbete (Fig. 23). I medeltal lastade drivaren 2,3 råton (1,1 ton TS) vilket ökade med ökad medelstamvolym. Vid ett skotningsavstånd på 100 m och en lastvikt på 1,1 ton TS/lass spenderade drivaren 69 G_0 -min/ton TS.



Figur 23. Fördelning av drivarens G_0 -tid vid gallring av skogsbränsle i form av träddeklar, skotningsavstånd 100 m.

Figure 23. The harwader's effective work time consumption in fuel wood thinning at a forwarder distance of 100 m divided per work element.

Drivarens produktivitet ökade linjärt med ökad medelstam (Figur 24).

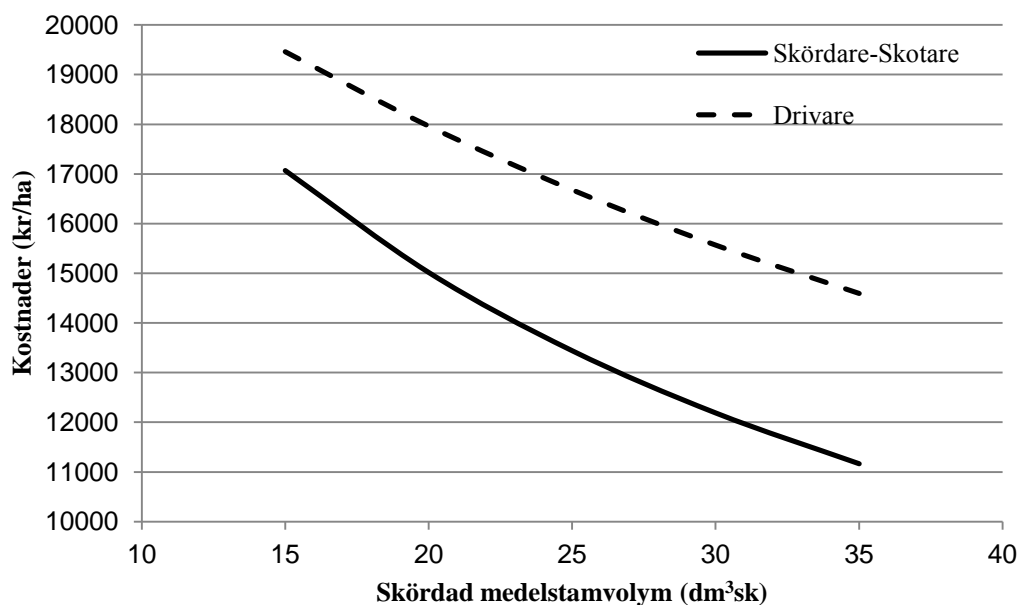


Figur 24. Drivarens produktivitet vid skörd av skogsbränsle som funktion av skördad medelstam vid ett skotningsavstånd på 100 m och en lastvikt på 1,1 ton TS.

Figure 24. The harvester's productivity in fuel wood thinning and a forwarding distance of 100 m as a function of harvested tree size. Based on a load capacity of 1.1 dry tonnes.

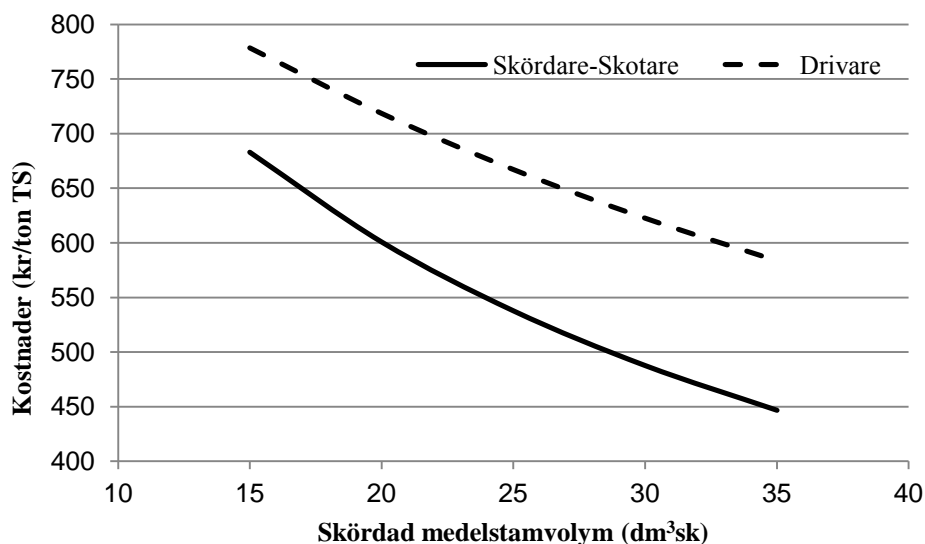
Ekonomi

För beräkningar av drivningskostnaden för respektive maskiner användes funktionerna på produktivitet baserat på produktiv tid (G₀-tid) beskrivna i figurer 20, 22 och 24. Den produktiva arbetstiden räknades om till bruttoarbetstid (G₁₅-tid) nu baserat på maximalt registrerad avbrottsid; max avbrottsid av G₁₅-tid för skördaren, skotare och drivaren var 16%, 14% respektive 12%.



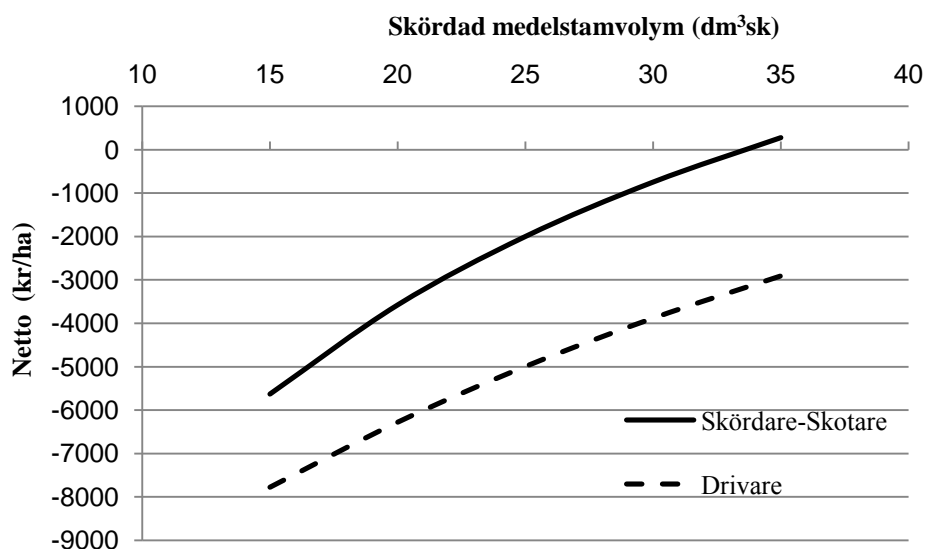
Figur 25. Skördekostnaden per hektar för ett system bestående av en medelstor skördare och skotare och ett system bestående av en liten drivare vid gallring av skogsbränsle i form av träddeklar som funktion av skördad medelstamvolym vid ett uttag av 25 ton TS/ha och ett skotningsavstånd på 100 m.

Figure 25. The harvesting costs per ha for a medium sized two-machine system and a small one-machine system in fuel wood thinning as a function of harvested tree size. Calculations are based on an extraction of 25 t dry matter per ha and a forwarding distance of 100 m.



Figur 26. Skördekostnaden per ton TS för ett system med en medelstor skördare och skotare och ett system bestående av en liten drivare vid gallring av skogsbränsle i form av träddelar som funktion av skördad medelstamvolym vid ett uttag av 25 ton TS/ha och ett skotningsavstånd på 100 m.

Figure 26. The harvesting costs per t dry matter for a medium sized two-machine system and a small one-machine system in fuel wood thinning as a function of harvested tree size. Calculations are based on an extraction of 25 t dry matter per ha and a forwarding distance of 100 m.



Figur 27. Netto per hektar för ett system med medelstor skördare och skotare och ett system med en liten drivare vid gallring av skogsbränsle i form av träddelar som funktion av skördad medelstamvolym vid ett uttag av 25 ton TS/ha och ett skotningsavstånd på 100 m.

Figure 27. The net income per ha for a medium sized two-machine system and a small one-machine system in fuel wood thinning as a function of harvested tree size. Calculations are based on an extraction of 25 t dry matter per ha and a forwarding distance of 100 m.

Kvalitet på kvarvarande bestånd

I medeltal hade 7,6% (min 4% och max 12%) av de kvarstående stammarna skador efter skördarens arbete och 13,6% (min 7% och max 27%) av kvarstående stammar var skadade efter att skotaren utförts sitt arbete. Skadorna efter skördarens arbete var belägna nära marken, i fällningshöjd, och skadorna efter skotarens arbete var belägna på stammar nära stickvägen och orsakades av både

kranstötar och påkörning med basmaskinen. I medeltal blev stubbhöjden 14,4 cm (sd 7,5 cm) i bestånden där det ackumulerande klippaggregatet användes och 18,7 cm (sd 8,5 cm) där skördaraggregaten användes. Vid skörd med den medelstora skördaren blev stickvägsbredd och stickvägsavstånd i medeltal 4,3 m respektive 24 m. Vägbredden på stråket i mellanzonen (vid skörd inne i beståndet) blev 3,3 m. Vid skörd med den mindre skördaren blev stickvägsbredd och stickvägsavstånd 3,5 m respektive 20 m. Vägbredden på stråket i mellanzonen blev då 3,1 m. Vid skörd med den lilla drivaren blev stickvägsbredd och stickvägsavstånd i medeltal 3,2 m respektive 10 m.

Diskussion

Driftsuppföljning

När en integrerad skörd av skogsbränsle och massaved utfördes vid en skördad medelstam av 36 dm³ sk så utgjorde massavedsanden endast 23% av den skördade volymen. Studier visar att andelen massaved ökar med ökad medelstam, och vice versa (Di Fulvio et al. 2011). I vägröjningsobjekten skördades mer än 150% mer biomassa per ha i jämförelse med gallringsobjekten. Resultaten visar att den totala drivningskostnaden per ha för ett tvåmaskinsystem blev 16% högre i vägröjnings- och kalavverkningsobjekten samt att skördarens andel av skördekostanden var 49% i jämförelse med 58% i gallring. Den ökade kostnaden per ha är en effekt av att alla träd skördas på en yta, vilket tar längre tid. Intäkterna vid gallring av enbart skogsbränsle eller integrerad skörd av skogsbränsle och massaved skilde sig men dessa var ca 62% lägre än motsvarande intäkt från vägröjnings- och kalavverkningsobjekten. Nettointäkten blev positiv i endast två av de 34 gallringsobjekten och i ett av de sex vägröjnings- och kalavverkningsobjekten. Om endast maskinkostnader och flyttkostnader inkluderas i beräkningarna, dvs, kostnader för t.ex. förröjning och annan exkluderas, så blir nettointäkten positiv i totalt fyra av de 34 gallringsobjekten (12% av totalt), dvs. i tre gallringar av skogsbränsle och en integrerad gallring. I medeltal blev nettot för dessa negativt med -5170 kr/ha. Motsvarande beräkningar gav en positiv nettointäkt för vägröjnings- och kalavverkningsobjekten i tre av sex objekt, och var i medeltal 1390 kr/ha.

Endast vid drivning med skördare och skotare i gallring av skogsbränsle var det möjligt att utföra beräkningar som ger tydliga trender på hur produktiviteten för respektive operation ändras under olika förhållanden. Figur 16 visar att skördarens produktivitet ökar linjärt inom det studerade intervallet av en skördad medelstam på 10-40 dm³. Funktionen ger en ca 50% ökning av produktivitet vid en fördubblad skördad medelstam. Systemkostnaden för tvåmaskinsystemen minskade i medeltal med ca 20% när en medelstam av 40 dm³ skördades i jämförelse med 20 dm³ (se Fig. 17). Omfattningen av denna minskning avtar med ökad medelstam.

Tidsstudier

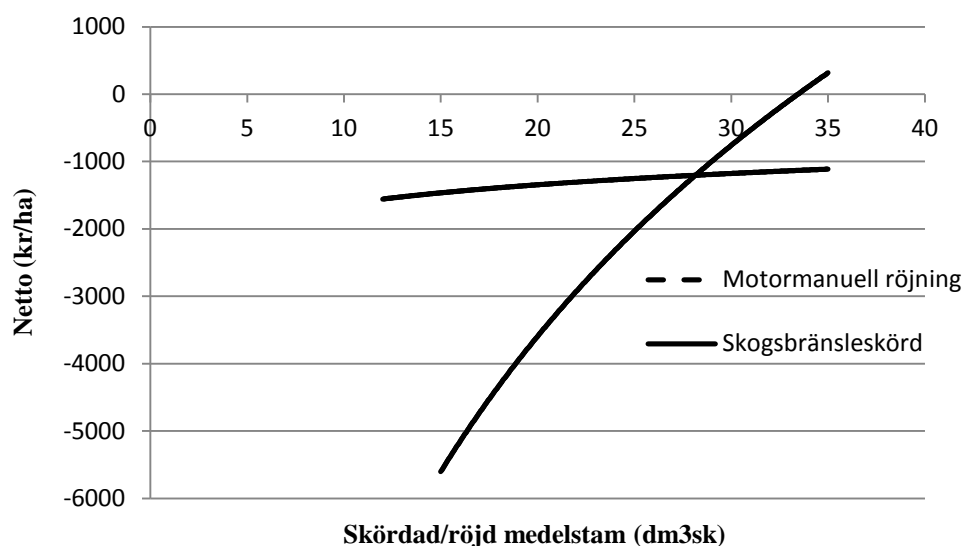
Förekomst av granunderväxt medförde att andelen störtid av produktiv arbetstid ökade från 3% till 8%, vilket medför att produktiviteten minskar i samma omfattning. I dessa fall kan en förröjning vara ett ekonomiskt alternativ. Vid en skördad medelstam av 20 dm³ så ackumulerade fällaggregaten i genomsnitt ca 40% fler stammar per krancykel än skördaraggregaten. Detta trots att ackumuleringskapaciteten är likvärdig. Detta är förmodligen en effekt av att matning och kvistning störs i högre utsträckning ju fler träd som ackumulerats, vilket resulterar i att man inte ackumulerar till full kapacitet. Om man istället använder ett specialtillverkat skördaraggregat för flerträdshantering så kan man förvänta sig att ackumuleringsgraden blir högre än vid flerträdshantering med ett engreppskördareaggregat. Vid en medelstam större än ca 40-45 dm³ (ca 10 cm dbh) så kan man förvänta sig att båda typer av aggregat endast hanterar ett träd per krancykel (se Fig. 19). Det noterades att skördaren arbetade med kortare kranarm (närmare basmaskinen) vid arbetet i mellanzonen, men att andelen ompositioneringstid då ökade något. Detta medförde att skördarens produktivitet (träd/G₀-timme) blev 15% högre vid skörd i mellanzonen i jämförelse med skörd från stickvägen (se beskrivning i Fig. 13). Fördelen med ökat avstånd mellan stickvägar är att biomassa/virkeskoncentrationen blir högre vilket medför att skotningsarbetet blir effektivare (se Dahlin 2008). Detta studerades dock inte i nuvarande studie. Om maskinernas möjliga kranräckvidd (max ca 9 m) utnyttjas vid skörd i mellanzonen hade stickvägsavståndet, teoretiskt sett, kunna öka från 24 m till 36 m. D.v.s., i rådande studie skördade man i medel med max 6 m kranarm. Nivån på skördarens produktivitet i tidsstudien var ungefär likvärdig med resultat från driftsuppföljningen (jmf. Fig. 15 & 20). Generellt sett ökade skotarnas lastvikter med ökad medelstam. Lastutnyttjandet på den mindre skotaren (max 5 ton) och de medelstora skotarna (max 12 ton) uppnådde i medeltal 56% respektive 53%. Lastutnyttjandet ökade när träden skördats med skördaraggregatet och grovkvistats. Lastens densitet uppnådde då 300 kg/m³ (60% lastutnyttjande), i jämförelse med 210 kg/m³ (45% lastutnyttjande) när träden skördats med ackumulerande fällaggregat (se även Bergström et al. 2010). Den mindre skotarens produktivitet var mindre än hälften än för de medelstora skotarna.

Grovkvistning med skördaraggregaten medförde att skotarlansens densitet ökade, vilket i sin tur medförde en ökad produktivitet på skotningsarbetet (se även Bergström et al. 2010, Iwarsson Wide 2009). Komprimerande laststakar kan utnyttjas för att komprimera lass av hela träd och träddelar (cf. Bergström et al. 2010). För att en sådan teknik skall bli kostnadseffektiv för en medelstor skotare får i kostnaden inte överstiga ca 5% av inköpskostnaden för skotaren (Di Fulvio et al. 2011).

Drivaren arbetade i huvudsak först som en skördare och sedan som en skotare. Det observerades att när 40% av de skördade träden direktlastades så ökade drivarens produktivitet med 10% i jämförelse med att först fälla träden och höglägga dem på marken för att sedan lasta dem. Detta tyder på att direktlastning skall tillämpas för att öka produktiviteten, vilket även är konstaterat i tidigare studier (Talbot et al. 2003). Det noterades att i bestånd med en densitet över ca 4000 träd/ha så var det svårt att skörda stickvägsträd och höglägga dem i beståndet utan att skada huvudstammar. Detta problem kan lösas genom att först skörda träd mellan stickvägar för att skapa ytor för högläggning av stickvägsträd (se Fig. 15a). Endast i 5% av krancyklerna skördades mer än ett träd per krancykel och maximalt hanterades två träd per krancykel. När träd över ca 20 cm i stubbskär fälldes med giljotinaggregatet (Nisula) så behövdes flera omtag (klippningar) för att fälla trädet, vilket var tidskrävande.

Generellt var produktiviteten för de olika maskinerna starkt korrelerad med den avverkade medelstammens storlek. Skördarens och drivarens produktivitet kan också korreleras till gallringsstyrka och skördad biomassa per ha. Det finns fortsatta behov att studera gallringsarbete i blandbestånd. I nuvarande studie noterades att när björk gallrades i granbestånd så krävdes mer försiktighet vid fällnings och buntningsarbete än vid motsvarande arbete i ett rent tallbestånd. Generellt sett så blev skördekostnaden per ha och ton TS högre för drivaren än för skördare och skotaresystemen (Fig. 25 & 26). När den skördade medelstamvolymen ökade från 15 till 35 dm³ så ökade skillnaden i kostnad mellan dessa system från 14% till 31%. Skillnaden mellan dessa system ökar också med ökat skotningsavstånd. Systemet med en liten skördare och liten skotare studerades dock inte inom intervallet 15 till 35 dm³ i medelstam, men vid 35 dm³ så blev skördekostnaden för detta system 10% högre i jämförelse med motsvarande system bestående av en medelstor skördare och skotare, och 16% lägre i jämförelse med systemet med den lilla drivaren. Generellt så blev nettot negativt för de studerade systemen när den skördade medelstamvolymen var mindre än ca 35 dm³ (Fig. 27).

Om man istället för att utföra en skogsbränslegallring skulle röjta motsvarande träd som skördats (se Tabell 9) skulle en motormanuell röjning vara en mindre kostsam åtgärd för bestånden med en medelstam lägre än ca 28 dm³sk (ca 7,5 cm dbh) (Figur 28). I detta fall ökar inte röjningskostnaden nämnvärt med ökad medelstam och varierar från ca 1700 kr/ha till 1000 kr/ha vilket beror på att antalet röjstammar minskar i antal med ökad medelstam. Vid en medelstam på ca 18 dm³sk är densiteten ca 3300 träd/ha och vid 35 m³sk ca 1300 träd/ha. I driftsuppföljningsstudien kostade en förröjning i medeltal ca 1800 kr/ha.



Figur 28. Nettointäkt/kostnad för skogsbränsleskörd med ett skördare och skotaresystem som funktion av skördad medelstam, samt kostnaden för motormanuell röjning per ha vid röjning av samma stammar som skördats. Beräkningar baserade på data i Tabell 9 och Figur 27 och litteraturodata för prognostisering av tidsåtgång per ha för motormanuell röjning och förrrensning (Anon. 1991) samt en röjningskostnad på 300 kr/G₁₅-timme.

Figure 28. Net income for fuel wood thinning with a harvester and forwarder system as a function of harvested mean tree size and the costs per ha for performing a motor-manual cleaning operation of the same stems as being harvested. Calculations are based on data from Table 9 and Figure 27 and published data for prediction of time consumption per ha for motor-manual cleaning (Anon. 1991) and a cleaning cost of 300 SEK per work hour.

Övrigt

I medeltal blev andelen stamskador mer än 5%, som "anses" vara en acceptabel nivå enligt skogslagstiftning i Norden. Skadeandelen kan förmodligen minskas både genom ändringar av arbetsmetoder samt tekniska lösningar. Exempelvis kan skotaren förses med en "bromslänk" som hindrar aggregatet att svänga under lastningen vilket medför bättre kontroll vid lastningsarbetet.

När skogsbränsle skördas i Sverige är det vanligt att den betalningsgrundande volymen biomassa som skördats mäts vid leverans till industrin. Detta sker genom vägning av lastbilarna och provtagning av fukthalt för beräkningar av energimängder och fastmassevolym. En nackdel med detta system är att man inte har kontroll över eventuella biomassa-förluster vid hantering och transporter i lagrings- och transportkedjan. Detta är till stor nackdel för skogsägaren. I Finland vägs den skördade biomassan (skogsbränslet) redan vid skörden, vanligtvis av en skotare utrustad med en kranvåg. För att säkerställa att dessa mätningar blir tillförlitliga pågår i dagsläget utveckling av dessa mätsystem (se Laitila & Asikainen 2006, Andersson 2011).

Slutsatser

Studien visar att det studerade avverkningssystemet bestående av en medelstor skördare och en medelstor skotare är ett mer kostnadseffektivt alternativ än ett system bestående av en liten drivare vid skörd av skogsbränsle i klen gallring. Med dagens priser på skogsbränsle så ger ett tvåmaskinsystem en lönsam skörd om medelstamvolymen överstiger ca 35 dm³ (dbh ca 8 cm). Detta är samstämmigt med tidigare studier som är utförda i både Sverige och i Finland. Teknik och arbetsmetoder för skörd av klena träd är relativt outvecklade och fortsatt utveckling kommer att leda till ökad kostnadseffektivitet. Detta ger således stora möjligheter till ökade intäkter för skogsägaren och till större utnyttjande av de skogliga resurserna i Sverige.

Tillkännagivanden

Detta arbete har finansierats av Botnia-Atlantica Programmet (projekt Forest Power) och projekt Bioenergigårdar.

Referenser

- Andersson, R.G. 2011. Productivity of integrated harvesting of pulpwood and energy wood in first commercial thinnings. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Arbetsrapport 308 2011.
- Anon. 1991. Prognosunderlag för motormanuell röjning och förrensning. SLA.
- Berg, S. 1992. Terrain classification system for forestry work. The Forest Operations Institute of Sweden, Kista. 28 pp. ISBN 91-7614-078-4.
- Bergström, D., Nordfjell, T. & Bergsten, U. 2010. Compression processing and load compression of young Scots pine and birch trees in thinning for bioenergy. *International Journal of Forest Engineering*, 21(1): 31-39.
- Björheden, R., Gullberg, T. & Johansson, J. (2003). Systems analyses for harvesting small trees for forest fuel in urban forestry. *Biomass and Bioenergy*, 24, 389-400.
- Dahlin, A. 2008. Produktivitet och kvalitet vid stickvägs- respektive beståndsgående förstagallring. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Arbetsrapport 216 2008.
- Di Fulvio, F., Berström D. 2011. Observations on the effects of rough-delimbing and load compression. In *Proceedings of 44 International Symposium on Forestry Mechanisation, Formec 2011 Austria*. October 9-13, 2011, Graz, Austria. CD-ROM, BOKU October 2011.
- Di Fulvio, F., Kroon, A., Bergström, D. & Nordfjell, T. 2011. Comparison of energy wood and pulpwood thinning systems in young birch stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26 (4): 339-349.
- Eliasson, L. 1999. Simulation of thinning with a single-grip harvester. *Forest Science*, 45: 26-34.
- Hakkila, P. 1978. Harvesting small-sized trees for fuel. *Folia Forestalia*, 342, 38 p.
- Iwarsson Wide, M. 2009. Knäckkvistning – en intressant metod för uttag av skogsbränsle i klen skog. *Skogforsk, Resultat nr. 8*.
- Jylhä, P. & Laitila, J. 2007. Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. *Silva Fennica*, 41(4): 763-779.
- Kärhä, K., Jouhio, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2005. Mechanized energy wood harvesting from early thinnings. *International Journal of Forest Engineering*, 16(1): 15-26.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2006. Energy wood logging from early thinnings by harwarder method. *Baltic Forestry*, 12(1): 94-102.
- Laitila, J. 2008. Harvesting technology and the cost of fuel chips from early thinnings. *Silva Fennica*, 42(2): 267-283.
- Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningsson, M. & Wästerlund, I. Unutilized biomass resources in Swedish young dense forests. In: *Proceedings of World Bioenergy 2008, Jönköping2008*. pp. 323 - 325. ISBN 9789197762403.
- Norra Skogsägarnas prislista. 2010. Norra Skogsägarna. www.norraskogsagarna.se
- Näslund, M. 1947. Functions and tables for computing the cubic volume of standing trees. Pine, spruce and birch in southern Sweden and in the whole of Sweden. *Reports of the Forest Research Institute of Sweden*, 36: 1-41.

Talbot, B. Nordfjell, T. & Suadicani, K. 2003. Assessing the utility of two integrated harvester-forwarder machine concepts through stand-level simulation. *International Journal of Forest Engineering* 14:2.

Ulvcróna, K., Nilsson, U. & Lundmark, T. 2010. Biomass functions for young Scots pine dominated forests. *Proceedings: World Bioenergy 2010*, 25-27 May, Jönköping, Sweden.

Wallentin, C. 2007. Thinning of Norway spruce. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 2007: 29.